

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОПОРНО-УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ УЗЛОВ НАСОСОВ НА ИХ РАБОТУ

Иванова Г.В., Тарасенко Е.А., Чжан Цзяжуй

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург*

Ключевые слова: торцевое уплотнение, подшипник скольжения, насос, испытание материалов, PTFE, PE-1000.

Аннотация. В работе представлены результаты расчетов параметров торцевых уплотнений и лабораторных исследований образцов из материалов PTFE и PE-1000 для изготовления подшипников скольжения. Испытания выполнены на машине трения ПВД-40. Приведена схема испытаний для определения момента трения и износа образцов из материала PTFE в зависимости от нагрузки и времени, микротвердость, шероховатость, деформации поверхности образцов.

STUDY OF THE INFLUENCE OF DESIGN AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF SUPPORT AND SEALING UNITS OF PUMP ON THEIR OPERATION

Ivanova G.V., Tarasenko E.A., Zhang J.

Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg

Keywords: mechanical seal, plain bearing, materials testing, pump, material testing, PTFE, PE-1000.

Abstract. The paper presents the results of calculations of the parameters of mechanical seals and laboratory studies of samples made of PTFE and PE-1000 materials for the manufacture of plain bearings. The tests were performed on a PBD-40 friction machine. A test setup is provided for determining the friction torque and wear of PTFE specimens as a function of load and time, as well as microhardness, roughness, and surface deformation.

Современные конструкции насосов позволяют транспортировать не только жидкости и газы с различными свойствами, но и используются на предприятиях для перекачки потоков, содержащих твердые частицы. Бесперебойное функционирование, надежность и долговечность устройств зависит от состояния контактных рабочих поверхностей пар трибосопряжений уплотнительно-опорных узлов, а при интенсификации нагрузок и скоростей в производственных процессах проблемы обеспечения герметичности и снижения износа встают особенно остро. В связи с этим, исследование влияния конструктивных и технологических параметров торцевых уплотнений на их работу, механизма процесса изнашивания и снижение износа рабочих поверхностей оборудования является актуальной задачей.

На рисунке 1 представлена схема насоса, на которой показаны торцевые уплотнения, осевой и радиальные подшипники, установленные на валу [1]. Все торцевые уплотнения состоят из базовых наборов элементов (рис. 2).

Герметизирующее уплотнения – это вращающееся уплотнительное кольцо и прокладка. Второй набор – это сальниковая набивка вала и уплотнительные кольца, клинья и V-образные кольца. Торцевые уплотнения также включают уплотнительные кольца сальника, манжеты, компрессионные кольца, шпильки, пружины и гофрированные трубки.

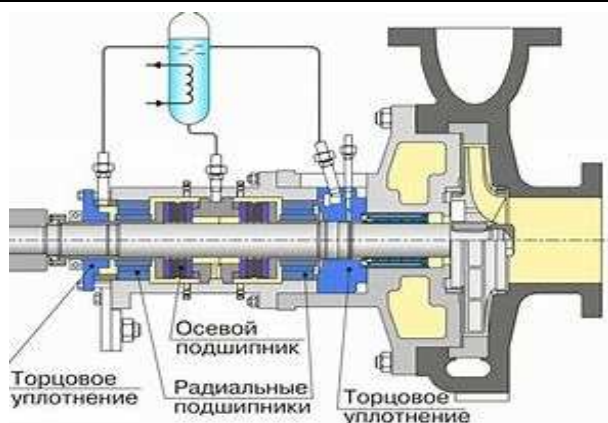


Рис. 1. Схема насоса

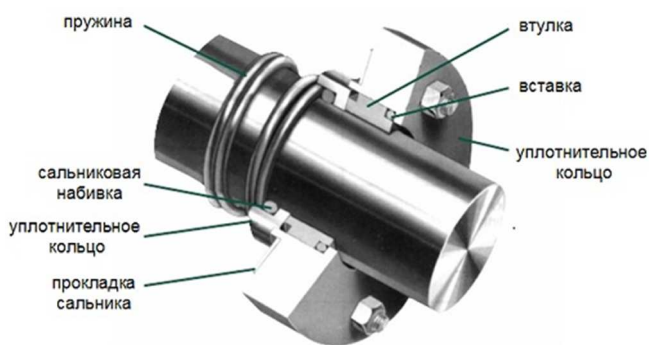


Рис. 2. Одинарное торцевое уплотнение

Герметизация обеспечивается за счет двух плоских полированных поверхностей, которые создают сложный путь, перпендикулярный пути утечки, препятствующее утечке, что обеспечивает минимальную утечку. Одна поверхность установлена неподвижно в корпусе, а другая зафиксирована и вращается вместе с валом. Одна из поверхностей выполнена из износостойкого материала, например, из угольного графита, а другая – из твердого материала (керамика, карбид кремния), чтобы исключить прилипание этих двух поверхностей. Поверхности торцевых уплотнений смазываются граничным слоем газа или жидкости. Полная информация о транспортируемом потоке жидкости позволяет выбрать наилучшее уплотнение для применения [1].

Расчет характеристик выполнен по методике для торцевых уплотнений John Crane 2100S (рис. 3, а) и Burgmann G1 (рис. 3, б) [2-4] согласно исходным данным (табл. 1).

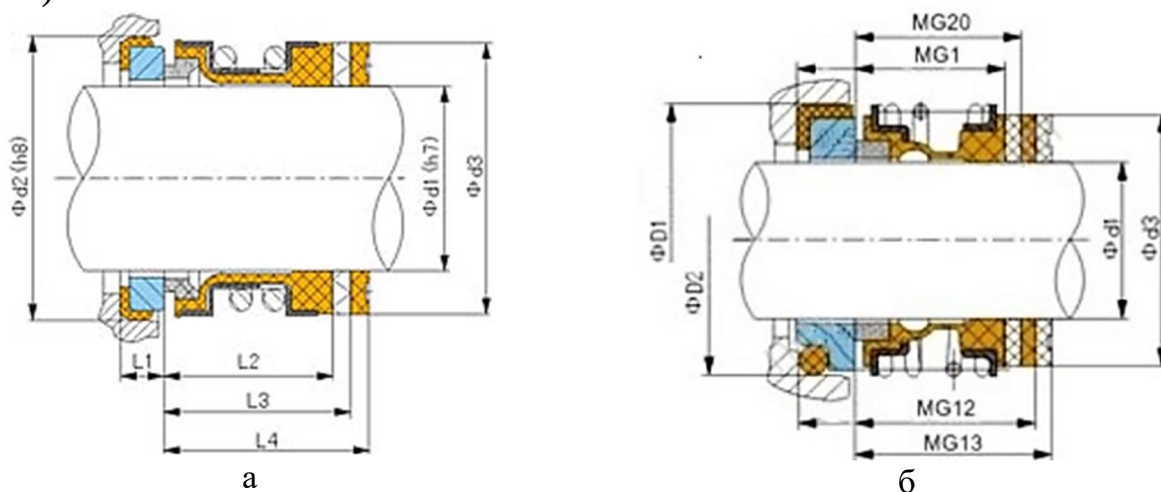


Рис. 3. Торцевые уплотнения: а – John Crane 2100S; б – Burgmann G1

Величина контактного давления в паре трения при перекачке воды выше, чем этиленгликоль и для John Crane 2100S составляет 5,51 и 5,19 кгс/см², для Burgmann G1 2,32 и 2,27 кгс/см² соответственно.

В результате расчета получен график зависимости скорости скольжения в паре трения от частоты вращения вала (рис. 4). Величина скорости скольжения изменяется от 3 до 6 м/с при частотах вращения от 1500 до 3000 об/мин как для уплотнения John Crane 2100S так и для Burgmann G1.

Табл. 1. Исходные данные

Параметр	Значение
Материал колец пары трения	Графит-керамика
Материал резинового сильфона	Резина NBR(P)
Диаметр вала под установку уплотнения d , мм, $h8$	33
Скорость вращения вала n , мин ⁻¹	1500 /2000/3000
Температура окружающего воздуха $t_{\text{в}}$, °C	+20
Скорость окружающего воздуха $V_{\text{в}}$, м/с	0,01
Тип уплотняемой жидкости	Вода / этиленгликоль
Избыточное давление жидкости Δp , кгс/см ²	1
Температура жидкости на входе $t_{\text{вх}}$, °C	65
Условия охлаждения уплотнения	реальные
Материал корпуса насоса	стальной

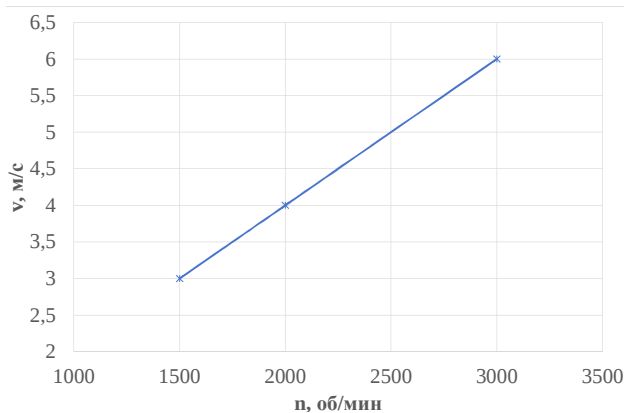


Рис. 4. Скорость скольжения в паре трения

Анализ результатов расчета необходимой циркуляции рабочей жидкости через уплотнительную камеру в зависимости от частоты вращения (рис. 5) и (рис. 6) позволил сделать вывод: необходимая циркуляция для этиленгликоля выше, чем для воды; с увеличением частоты вращения повышается значение необходимой циркуляции. Для торцевого уплотнения John Crane 2100S составляет от 42 до 57,7%, для Burgmann MG1- от 42,9 до 46,6%.

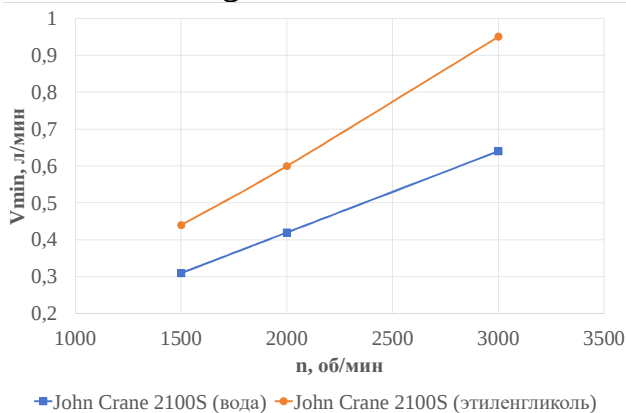


Рис. 5. Необходимая циркуляция рабочей жидкости через уплотнительную камеру в зависимости от частоты вращения торцевого уплотнения John Crane 2100S

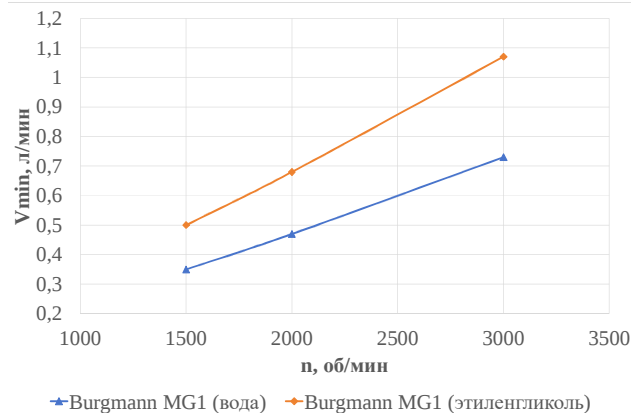


Рис. 6. Необходимая циркуляция рабочей жидкости через уплотнительную камеру в зависимости от частоты вращения торцевого уплотнения Burgmann MG1

Анализ результатов по расчету вероятностной величины утечки (рис. 7, 8) показал, что для двух типов уплотнений для жидкости этиленгликоль от 1500 об/мин до 3000 об/мин значения увеличиваются плавно от 0,27 до 0,36 см³/ч John Crane 2100S и 0,26 до 0,35 см³/ч Burgmann MG1, а для воды – от 1500 до 2000 об/мин график возрастает, а от 2000 до 3000 об/мин в уплотнении John Crane 2100S вероятность утечки продолжает увеличиваться, а для Burgmann MG1 резко падает практически в 2 раза. По полученным параметрам можно сделать вывод, что уплотнение Burgmann MG1 имеет лучшие показатели по сравнению John Crane 2100S.

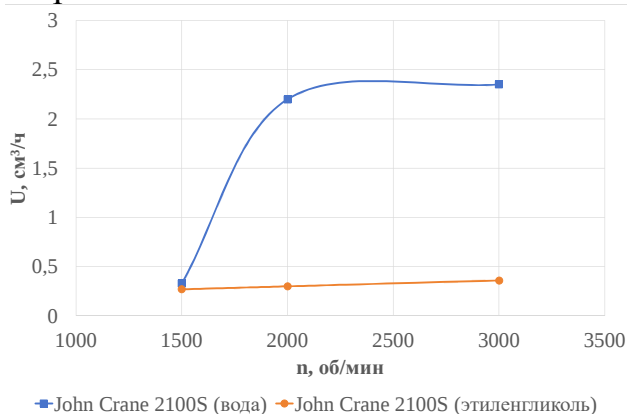


Рис. 7. Вероятностная величина утечки через торцевое уплотнение в зависимости от частоты вращения торцевого уплотнения John Crane 2100S

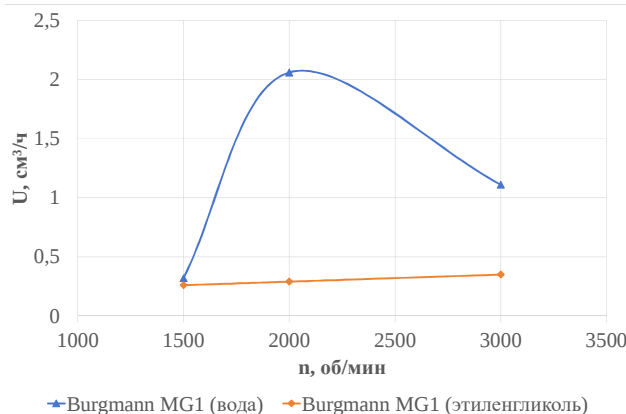


Рис. 8. Вероятностная величина утечки через торцевое уплотнение в зависимости от частоты вращения торцевого уплотнения Burgmann MG1

Исследование материалов, используемых при изготовлении подшипников скольжения опорных узлов насоса выполнены на базе лаборатории МНОЦ «BaltTribo-Polytechnic» ФГАОУ ВО «СПбПУ» ИММиТ по методике [5].

Лабораторные испытания проводились на машине трения ПВД-40, представленной на рисунке 9 с образцами для испытаний. В качестве истирающего тела использовался шарик диаметром 12,6 мм, выполненный из стали ШХ15, который зажимался в патроне и опускался до соприкосновения с образцом полимера, зафиксированным на рабочем столе машины. К образцу прикладывался вращающий момент, на образце появлялся отпечаток, величина момента фиксировалась в течение испытаний. Материалы образцов – цилиндр РЕ-1000, кольцо РТФЕ. Образцы до испытаний показаны на рисунке 10.



Рис. 9. Машина трения ПВД-40



Рис. 10. Образцы до испытаний

Результаты испытаний образцов представлены на рисунке 11.

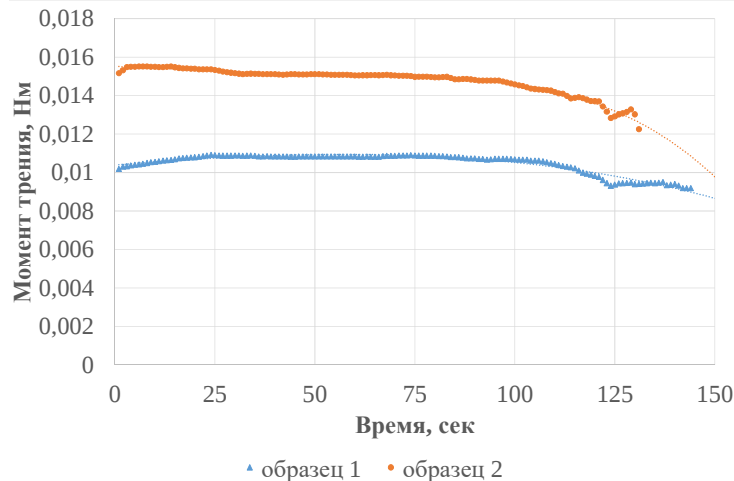


Рис. 11. Момент трения в зависимости от времени

Образцы 1 цилиндр и 2 кольцо имеют подобную форму графиков, изменение величины момента для образца 1 составляет от 0,011 до 0,009 Нм, а для образца 2 – от 0,015 до 0,012 Нм. Величина момента образца 1 на интервале времени от 26 до 106 сек постоянная, значение 0,011 Нм.

Анализ результатов испытаний позволяет сделать вывод, что лучшими трибологическими характеристиками обладает образец 1 из РЕ-1000, так как момент трения на всем временном интервале эксперимента более стабилен и имеет наименьшие по величине значения из двух тестируемых образцов.

Фото образца в форме кольца из РТФЕ после испытаний показаны на рисунке 12. На образцах видны зоны деформаций поверхности.

Исследование величины деформации по отпечатку образца представлено ниже на рисунке 13. При исследовании отпечатка шарика на микроскопе МБС-9 модифицированный с увеличением 40х (рис. 13, а) и 20х (рис. 13, б).

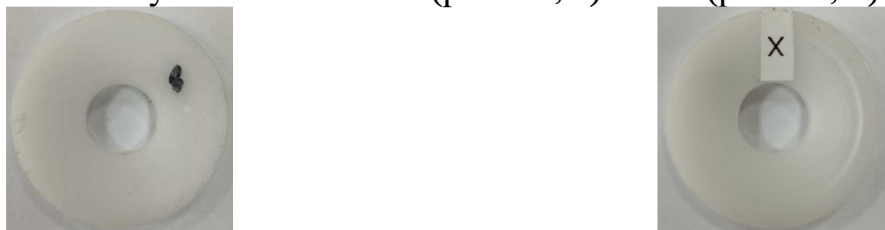


Рис. 12. Вид образца из РТФЕ после испытаний

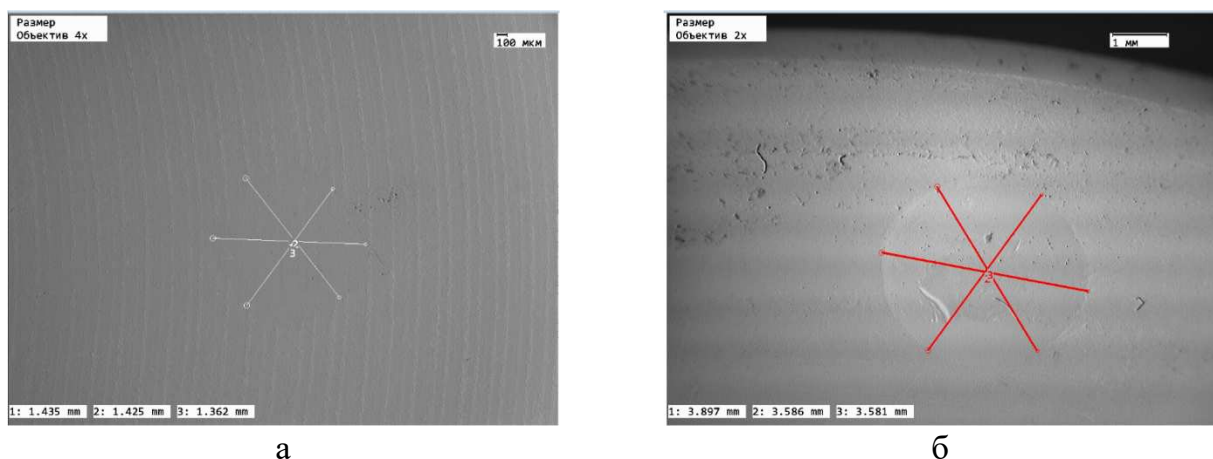


Рис. 13. Снимки диаметров отпечатков на поверхности образцов на микроскопе МБС-9: а – образец 1 цилиндр РЕ–1000; б – образец 2 кольцо РТФЕ

Средний диаметр отпечатка образца из РЕ-1000 составляет 1,407 мм, из РТФЕ – 3,688 мм.

Измерение твердости проводим для образца из РЕ-1000 как более твердого материала. Измерение твердости образца проводилось на автоматическом микротвердомере Future-Tech от границы в глубь отпечатка, средняя твердость – 19,4 HV (10 г), твердость материала не в точке износа – 72,3 HV(10 г).

Из анализа результатов трибологических свойств полимерных материалов можно сделать вывод о том, что материал РЕ-1000 наиболее предпочтительный для работы в условиях высоких нагрузок, так как образец 2 из материала РТФЕ имеет большие деформации.

Список литературы

1. Чичеров Л.Г., Молчанов Г.В., Рабинович А.М., Ивановский Н.Ф., Абдулаев Ю.Г., Грабович В.П., Слышенков В.А., Лемберанский Ф.Д. Расчет и конструирование нефтегазопромыслового оборудования. Учебное пособие. – М.: Недра, 1987. – 422с.
2. Торцевые уплотнения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.seals.higheexpert.ru/>
3. Торцевые уплотнения John Crane [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nevadiesel.com/torcevye-uplotneniya-john-crane-2100>.
4. Торцевые уплотнения Burgmann G1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nevadiesel.com/torcevye-uplotnenie-burgmann-mg1-mg12-mg13-mg1s20>.
5. Бреки А.Д., Иванова Г.В., Тарасенко Е.А., Золотарев К.И., Ли С., Лян Х., Ли Ю., Сунь В. Исследование трения полимерных материалов для аддитивных производств // Фундаментальные основы механики. – 2023. – № 11. – С. 56-60. – DOI: 10.26160/2542-0127-2023-11-56-60.

Сведения об авторах:

Иванова Галина Валерьевна – старший научный сотрудник международного научно-образовательного центра «BaltTribo-Polytechnic»;

Тарасенко Елена Александровна – к.т.н., доцент Высшей школы машиностроения Института машиностроения, материалов и транспорта;

Чжан Цзяжуй – магистрант.